Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 18, No. 1, Spring. 2020, p. 101-109

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۸، شماره ۱، بهار ۱۳۹۹، ص. ۱۰۹-۱۰۱

تاثیر کاربرد آبیاری تکمیلی و کودهای زیستی بر عملکرد، محتوای کلروفیل، سرعت و طول دوره پر شدن دانه گندم دیم

فرامرز یقینی[۱]، رئوف سیدشریفی[۲]*، حامد نریمانی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۳/۲۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۸/۲۵

چکیده

به‌منظور بررسی تاثیر کاربرد آبیاری تکمیلی و کودهای زیستی بر عملکرد دانه، محتوای کلروفیل و مولفه‌های پر شدن دانه گندم دیم، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در ایستگاه تحقیقات کشاورزی اردبیل طی سال ۱۳۹۵ اجرا شد. عامل‌های آزمایشی سطوح آبیاری در سه مرحله (شامل عدم آبیاری یا کشت دیم، آبیاری تکمیلی در مراحل تورم غلاف برگ پرچم (بوتینگ) و ظهور سنبله به‌ترتیب بر مبنای کد ۴۵ و ۶۱ از تقسیم‌بندی BBCH)، کاربرد کودهای زیستی در چهار سطح (شامل تلقیح بذر با آزوسپریلیوم، کاربرد میکوریزا، کاربرد توام میکوریزا و آزوسپریلیوم و بدون کاربرد کودهای زیستی به‌عنوان شاهد) بودند. نتایج نشان داد که کاربرد توام میکوریزا و آزوسپریلیوم و آبیاری تکمیلی در مرحله تورم غلاف برگ پرچم (بوتینگ)، محتوای کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کاروتنوئید را (به‌ترتیب ۷۶/۶، ۴۶/۲۶، ۴۹/۵۷ و ۱۰۰ درصد) در مقایسه با عدم کاربرد کودهای زیستی تحت شرایط دیم افزایش داد. همچنین کاربرد توام میکوریزا و آزوسپریلیوم و انجام آبیاری تکمیلی در مرحله تورم غلاف برگ پرچم (بوتینگ)، به‌ترتیب موجب افزایش ۱۵/۲۶، ۵۱/۳۵، ۱۴/۰۴، ۳۵/۹۲ و ۳۵/۲۷ درصدی در سرعت پر شدن دانه، وزن تک بذر، طول دوره‌ی پر شدن، دوره موثر پر شدن دانه و عملکرد دانه نسبت به عدم کاربرد کودهای زیستی تحت شرایط دیم شد. بر اساس نتایج این آزمایش، به‌نظر می‌رسد کاربرد آبیاری تکمیلی و کودهای بیولوژیک می‌تواند به‌عنوان تعدیل‌کننده‌های تنش خشکی در گندم تحت شرایط دیم پیشنهاد شود.

واژه‌های کلیدی: آزوسپریلیوم، رنگیزه‌های فتوسنتزی، محدودیت آبی، میکوریزا

مقدمه

گندم (*Triticum aestivum* L.) یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی است که در بیشتر مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌صورت دیم کشت می‌شود (Seyed Sharifi and Khalilzadeh, 2018). در چنین مناطقی محدودیت آبی در مرحله پر شدن دانه امری اجتناب‌ناپذیر است، که از طریق کاهش رشد (Galle *et al*., 2010)، کاهش میزان فتوسنتز (Saeidi and Abdoli, 2015)، تسریع پیری برگ‌ها (Martinez *et al*., 2003) موجب کاهش وزن دانه و عملکرد می‌شود. آبیاری تکمیلی یکی از راهکارهایی است که می‌تواند به‌منظور بهبود و تثبیت عملکرد در زمان‌هایی به‌کار گرفته شود که بارندگی نمی‌تواند رطوبت کافی برای رشد عادی گیاه را فراهم کند (Oweis *et al*., 1999). وطن‌دوست و همکاران (Vatan Doost *et al*., 2018) اظهار داشتند تحت شرایط محدودیت آبی، محتوای کلروفیل و مولفه‌های پر شدن دانه کاهش یافته و استفاده از کودهای زیستی موجب افزایش این صفات و عملکرد دانه‌ی کلزا (*Brassica napus* L.) شد. داداش‌زاده (Dadashzadeh, 2019) اظهار داشت کاربرد کودهای زیستی در شرایط تنش موجب افزایش محتوای کلروفیل، مولفه‌های پر شدن و عملکرد دانه‌ی جو (*Hordeum vulgare* L.) شد.

یکی از مهم‌ترین آثار تنش ناشی از محدودیت آبی، کاهش جمعیت میکروارگانیسم‌های خاک است. در این راستا، کاربرد کودهای زیستی نه‌تنها مقاومت گیاه را در برابر شرایط تنش‌زای مختلف محیطی مانند کمبود آب و عناصر غذایی افزایش می‌دهد (Seyed Sharifi and Namvar, 2017)، بلکه میکروارگانیسم‌های از بین رفته خاک را نیز جبران می‌کند (Gusain *et al*., 2015). حضور میکوریزا در ریشه‌های گیاهان و گسترش هیف قارچ‌ها در لابه‌لای ذرات خاک، امکان جذب یون‌های کم‌تحرک را حتی در شرایطی که رطوبت خاک کم باشد، افزایش می‌دهد. افزایش تحمل به تنش خشکی و شوری، جذب بهتر مواد غذایی و بهبود ساختمان خاک (Al-Karaki *et al*., 2004) نمونه‌هایی از نقش این قارچ‌ها است. باکتری‌های محرک رشد نیز با تثبیت نیتروژن، تولید سیدروفورهای کمپلکس‌کننده آهن، تولید هورمون‌های گیاهی مانند جیبرلین، سیتوکینین و اکسین، سنتز آنتی‌بیوتیک‌ها و ترکیبات قارچ‌کش، رشد گیاهان را بهبود می‌بخشند (Rudresha *et al*., 2005). عبادی و همکاران (Ebadi *et al*., 2018) گزارش کردند کاربرد کودهای

---

۱ و ۳- دانشجویان کارشناسی ارشد رشته زراعت، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی
۲- استاد دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی
(*- نویسنده مسئول: Email: raouf_ssharifi@yahoo.com)
DOI: 10.22067/gsc.v18i1.81264

زیستی در شرایط آبیاری تکمیلی موجب افزایش محتوای کلروفیل، کاروتنوئید، مولفه‌های پر شدن دانه و عملکرد دانه جو شد. سید شریفی (Seyed Sharifi, 2018) گزارش کرد که باکتری‌های محرک رشد و میکوریزا با تولید هورمون‌های رشد و تامین عناصر غذایی ضمن افزایش سرعت پر شدن دانه و تداوم بیشتر دوره پر شدن دانه موجب افزایش عملکرد دانه شد. خیری‌زاده آروق و همکاران (Kheirizadeh Arough *et al*., 2016) مشاهده کردند کاربرد کودهای زیستی در شرایط تنش شوری موجب افزایش محتوای کلروفیل a، b، کلروفیل کل، کاروتنوئید و عملکرد دانه‌ی تریتیکاله (*Triticale spp*) شد. امانی و همکاران (Amani *et al*., 2017) گزارش کردند که کاربرد کودهای زیستی موجب افزایش محتوای کلروفیل a، b و عملکرد دانه ذرت (*Zea maize* L.) شد.

کاهش طول دوره پر شدن دانه در بیشتر مناطق تحت کشت گندم دیم به‌دلیل مواجه شدن با محدودیت آبی، منجر به کاهش عملکرد دانه می‌شود. در این راستا به‌دلیل اهمیت آبیاری تکمیلی و کودهای زیستی در کاهش یا تعدیل اثر ناشی از محدودیت آبی و کمی بررسی‌های انجام شده در خصوص برهم‌کنش این دو عامل موجب شد تا تاثیر این عوامل بر عملکرد، محتوای کلروفیل و مولفه‌های پر شدن دانه مورد ارزیابی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در ایستگاه تحقیقات کشاورزی اردبیل طی سال ۱۳۹۵ اجرا شد. محل اجرای آزمایش دارای اقلیم نیمه‌خشک و سرد است. ارتفاع از سطح دریا ۱۳۵۰ متر با مختصات جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۰ دقیقه طول شرقی و ۳۸ درجه و ۱۵ دقیقه عرض شمالی می‌باشد. خاک این اراضی جزء خاک‌های لوم رسی است. pH خاک حدود ۷/۷ و عمق زراعی آن حدود ۷۰ سانتی‌متر با میزان متوسط بارش ثبت شده ده سال اخیر در محدوده ۲۹۰-۲۸۰ میلی‌متر می‌باشد. خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک محل اجرای آزمایش و مشخصات جوی در طول دوره رشدی به‌ترتیب در جدول ۱ و ۲ آورده شده است.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک

Table 1- Soil physicochemical properties

مشخصه Characteristic	آهک $CaCO_3$	رس Clay	سیلت Silt	شن Sand	کربن آلی O.C	نیتروژن N	هدایت الکتریکی EC	فسفر P	پتاسیم K	آهن Fe	pH
		(%)					($dS.m^{-1}$)		$mg.kg^{-1}$		
میزان Amount	5	39	30	31	0.858	0.08	1.54	12.2	495	5.1	7.76

جدول ۲- مشخصات جوی در طول دوره رشدی گندم

Table 2- Atmospheric characteristics during wheat growth

پارامتر Parameter	مهر Oct	آبان Nov	آذر Dec	دی Jan	بهمن Feb	اسفند Mar	فروردین Apr	اردیبهشت May	خرداد Jun	تیر Jul
بارندگی ماهانه Monthly rainfall (mm)	4.8	40.3	28.9	3.4	35.2	9.4	3.3	32.9	2.4	9.3
میانگین حداقل درجه حرارت (°C) Mean of minimum temperature	6.1	1.7	4.6	-5.1	-8.2	-1.4	2.1	7.4	10	12.8
میانگین حداکثر درجه حرارت (°C) Mean of maximum temperature	18.4	12.5	3.5	5.8	0.2	9.4	14.3	21.4	24.5	26.1
میانگین دمای روزانه Average daily temperature	12.2	7.1	0.6	0.4	-4	4	8.2	14.4	17.3	19.5
میانگین رطوبت نسبی ٪ Mean of relative humidity	76	75	65	64	82	69	69	62.6	68	60.6

ماخذ: اداره کل هواشناسی استان اردبیل

Reference: Department of Meteorology of the Ardebil province

عامل اول شامل سطوح آبیاری [آبیاری تکمیلی در مرحله تورم غلاف برگ پرچم (بوتینگ)، آبیاری تکمیلی در مرحله ظهور سنبله به‌ترتیب بر مبنای کد ۴۵ و ۶۱ از تقسیم‌بندی BBCH (Seyed Sharifi and Khalilzadeh, 2018) و عدم آبیاری یا کشت دیم، عامل دوم شامل کاربرد کودهای زیستی در چهار سطح (تلقیح بذر با آزوسپریلیوم، کاربرد میکوریزا، کاربرد توام میکوریزا و آزوسپریلیوم و بدون کاربرد کودهای زیستی به‌عنوان شاهد) بود، از قارچ *Glomus intraradicese* برای تلقیح استفاده شد که مخلوطی از اسپور، هیف

و قطعات جدا شده از ریشه‌های آلوده بود. مقدار قارچ مورد استفاده ۲۰ گرم در هر متر مربع خاک بود که از شرکت زیست‌فناوران توران تهیه شد. این مقدار توسط شرکت مربوطه توصیه شده است. برای تلقیح بذر با آزوسپریلیوم از مایه تلقیحی که هر گرم آن $۱۰^۷$ عدد باکتری زنده و فعال بود استفاده شد. همچنین از محلول صمغ عربی به نسبت ۱۵ درصد وزنی-حجمی برای چسبندگی بهتر مایه تلقیح به بذرها استفاده شد. این باکتری‌ها از موسسه آب و خاک تهران تهیه شد. هر واحد آزمایشی شامل پنج خط کاشت به طول دو متر و با فاصله بین ردیفی ۲۰ سانتی‌متر و تراکم ۴۰۰ بذر در متر مربع بود. تاریخ کاشت ۲۵ آبان ۱۳۹۵ بود. در این بررسی از گندم رقم رصد استفاده شد که بذر آن از ایستگاه تحقیقات کشاورزی اردبیل تهیه شده بود.

به‌منظور بررسی مولفه‌های پر شدن دانه هشت روز بعد از ظهور سنبله، در فواصل زمانی هر چهار روز یک‌بار، سه بوته از بین بوته‌های رقابت‌کننده به‌طور تصادفی انتخاب و پس از انتقال به آزمایشگاه، ابتدا دانه‌ها از سنبله جدا و شمارش شدند. بعد به مدت دو ساعت در آون الکتریکی تهویه‌دار در دمای ۱۳۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. سپس وزن خشک تک بذر از محاسبه وزن خشک کل به تعداد بذر برآورد شد (Ronanini *et al*., 2004). به‌منظور برآورد، تجزیه و تحلیل و تفسیر پارامترهای مربوط به پر شدن دانه از یک مدل رگرسیون خطی (دو تکه‌ای) بر اساس رویه DUD و دستورالعمل Proc نرم‌افزار SAS به‌صورت زیر استفاده شد.

$$GW = \begin{cases} a + bt_0 & t < t_0 \\ a + bt & t > t_0 \end{cases} \qquad (۱)$$

در این رابطه GW وزن دانه، t زمان و b سرعت پر شدن دانه، t_0 پایان دوره پر شدن دانه و a عرض از مبدا است. این مدل تغییرات وزن دانه نسبت به زمان را به دو مرحله تفکیک می‌کند: مرحله اول که در حقیقت مرحله خطی پر شدن دانه است، وزن دانه تا رسیدن به حداکثر مقادیر خود در زمان t_0 که در حقیقت زمان رسیدگی وزنی است، به‌صورت خطی افزایش پیدا می‌کند. شیب خط رگرسیون در این مرحله ($t < t_0$) سرعت پر شدن دانه را نشان می‌دهد (Ellis and Pieta-Filho, 1992). با پردازش این مدل بر کلیه داده‌ها ابتدا دو پارامتر مهم پر شدن دانه یعنی سرعت پر شدن دانه (b) و زمان رسیدگی وزنی (t_0) به‌دست آمده و سپس مقدار عددی t_0 در قسمت دوم رابطه قرار داده شد و GW که وزن دانه است محاسبه شد. برای تعیین دوره موثر پر شدن دانه از معادله زیر استفاده شد (Ellis and Pieta-Filho, 1992).

$$EFP = {MGW}/{b} \qquad (۲)$$

در این رابطه EFP دوره موثر پر شدن دانه، MGW حداکثر وزن دانه و b سرعت پر شدن دانه است.

محتوای کلروفیل و کاروتنوئید برگ با استفاده از روش آرنون (Arnon, 1967) اندازه‌گیری شد.

عملکرد دانه از دو خط اصلی هر کرت با رعایت اثر حاشیه‌ای از سطحی معادل ۰/۲ مترمربع برداشت شد. برای تجزیه داده‌ها و رسم شکل‌ها از نرم‌افزارهای SAS و Excel و مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال یک درصد انجام شدند.

نتایج و بحث

محتوای کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کاروتنوئید: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر آبیاری تکمیلی، کودهای زیستی و برهمکنش این دو عامل بر محتوای کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئید در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد بیش‌ترین محتوای کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کاروتنوئید به کاربرد توام آزوسپریلیوم و میکوریزا و آبیاری تکمیلی در مرحله تورم غلاف برگ پرچم (بوتینگ) (به‌ترتیب ۳/۰۲، ۰/۹۸، ۳/۵۶ و ۱/۰۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) و کم‌ترین این مقادیر (به‌ترتیب ۱/۷۱، ۰/۶۷، ۲/۳۸و ۰/۵۴ میلی‌گرم بر وزن تر برگ) در عدم کاربرد کودهای زیستی تحت شرایط کشت دیم به‌دست آمد (جدول ۴).

کاهش مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی در شرایط تنش خشکی می‌تواند عمدتاً به‌دلیل تخریب ساختمان کلروپلاست و دستگاه فتوسنتزی، فتواکسیداسیون کلروفیل‌ها، واکنش آن‌ها با گونه‌های فعال اکسیژن، تخریب پیش ماده‌های سنتز کلروفیل و ممانعت از بیوسنتز کلروفیل‌های جدید و فعال شدن آنزیم‌های تجزیه‌کننده کلروفیل، از جمله کلروفیلاز باشد (El-Tayeb, 2005; Neocleous and Nasilakakis, 2007). بررسی ژن ژو و ژن ون (Zhen-Zhu and Zhen-Wen, 2006) نشان داد آبیاری تکمیلی نسبت به شرایط دیم موجب افزایش محتوای کلروفیل b شد. امانی و همکاران (Amani *et al*., 2017) اظهار داشتند که کاربرد کودهای زیستی به‌واسطه‌ی حضور باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن و تامین مناسب و کافی نیتروژن موجب می‌شود که گیاه، نیتروژن کافی برای تولید کلروفیل در اختیار داشته باشد. بابایی و همکاران (Babaei *et al*., 2017) گزارش کردند که کاربرد کودهای زیستی به دلیل افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی موجب حذف گونه‌های فعال اکسیژن و کاهش نشت الکترولیت برگ شده و همین امر را به افزایش محتوای کلروفیل برگ و عملکرد دانه نسبت دادند. خیری‌زاده آروق و همکاران (Kheirizadeh Arough *et al*., 2016) مشاهده کردند کاربرد کودهای زیستی در شرایط تنش، ضمن افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و اسمولیت‌های سازگار در تریتیکاله منجر به بهبود مقاومت گیاه در برابر تنش، افزایش محتوای کلروفیل a، b، کلروفیل کل، کاروتنوئید و عملکرد دانه شد. عبادی و همکاران (Ebadi *et al*., 2018) اظهار داشتند که کاربرد کودهای زیستی و آبیاری تکمیلی در مرحله تورم غلاف برگ پرچم (بوتینگ) موجب

افزایش محتوای کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کاروتنوئید برگ پرچم جو نسبت به عدم کاربرد این کودها تحت شرایط دیم شد. همچنین داداش‌زاده (Dadashzadeh, 2019) گزارش کرد که کاربرد آزوسپریلیوم و میکوریزا در شرایط آبیاری کامل با بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و شرایط فتوسنتزی گیاه، موجب افزایش محتوای کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئید برگ پرچم جو شد.

جدول ۳- تجزیه واریانس محتوای کلروفیل، مولفه‌های پر شدن دانه و عملکرد گندم متاثر از کاربرد کودهای زیستی در شرایط آبیاری تکمیلی و دیم

Table 3- Analysis of variance chlorophyll content, grain filling components and yield of wheat as affected of bio fertilizers under supplemental irrigation and rainfed condition

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی d.f	M.S میانگین مربعات								
		کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total Chlorophyll	کاروتنوئید Carotenoid	حداکثر وزن دانه Maximum of grain weight	دوره مؤثر پر شدن دانه Effective grain filling period	طول دوره پر شدن دانه Grain filling period	سرعت پر شدن دانه Grain filling rate	عملکرد دانه Grain yield
بلوک Replication	2	2.33**	0.32**	4.39**	0.3**	0.000005**	232.24**	366.52**	2.19**	592183.36ns
آبیاری Irrigation (I)	2	1.54**	0.08**	2.38**	0.35**	0.00035**	23.3**	6.46**	0.17**	182525.82ns
کودهای زیستی Bio fertilizers (B)	3	0.97**	0.05**	1.46**	0.037**	0.000104**	9.29**	2.34**	0.037**	329287.88ns
کودهای زیستی ×آبیاری I×B	6	0.08**	0.002**	0.11**	0.002**	0.0000024**	5.04**	3.11**	0.034**	3546666.8**
خطای آزمایشی Error	22	0.007	0.0004	0.011	0.001	0.00000091	0.29	0.04	0.0008	313204.33
ضریب تغییرات CV(%)	-	4.4	4.0	2.5	4.0	2.0	2.4	0. 8	1.3	13.3

ns، * و ** به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

ns, * and ** are non-significant, significant at P≤0.05 and P≤0.01, respectively.

مولفه‌های پر شدن دانه: نتایج تجزیه واریانس مولفه‌های پرشدن نشان داد که اثر سطوح آبیاری، کودهای زیستی و برهمکنش این دو عامل بر مولفه‌های پر شدن دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بالاترین سرعت پر شدن دانه در کاربرد آبیاری در مرحله تورم غلاف برگ پرچم (بوتینگ) در تلقیح بذر با آزوسپریلیوم (۲/۳۸ میلی‌گرم در روز) و کم‌ترین آن تحت شرایط دیم و عدم کاربرد کودهای زیستی به‌دست آمد (جدول ۴). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیش‌ترین طول دوره پر شدن دانه، حداکثر وزن خشک تک بذر و دوره مؤثر پر شدن دانه در شرایط آبیاری تکمیلی در مرحله تورم غلاف برگ پرچم (بوتینگ) و کاربرد توام آزوسپریلیوم با میکوریزا (به‌ترتیب با میانگین‌های ۲۹/۵۵ روز، ۰/۰۵۶ گرم در روز و ۲۶/۳۷ روز) و کم‌ترین آن‌ها در حالت عدم کاربرد کودهای زیستی تحت شرایط دیم به‌دست آمد (جدول ۴).

جدول ٤- مقایسه میانگین اثر کودهای زیستی و آبیاری تکمیلی بر برخی صفات گندم

Table 4- Means comparison of the effects of bio fertilizers and supplemental irrigation on some wheat traits

تیمار Treatments	کلروفیل a Chlorophyll a (mg.g-1 FW)	کلروفیل b Chlorophyll b (mg.g-1 FW)	کلروفیل کل Chlorophyll Total (mg.g-1 FW)	کاروتنوئید Carotenoid (mg.g-1 FW)	حداکثر وزن دانه Maximum of grain weight (g)	دوره مؤثر پر شدن دانه Effective grain filling period (day)	طول دوره پر شدن دانه Grain filling period (day)	سرعت پر شدن دانه grain filling rate (mg.day-1)	عملکرد دانه Grain yield (g.m-2)	معادله برازش شده Estimated Equation
I1×B1	2.01de	0.78ef	2.79de	0.87d	0.049de	23.15cd	28.36bc	2.17de	3842ef	Y=0.00217X-0.0127
I1×B2	2.41c	0.88c	3.29c	0.93c	0.05cd	21.74ef	26.57f	2.38a	4059bc	Y=0.0023X-0.0138
I1×B3	2.87a	0.96ab	3.73a	1.01b	0.053b	24.09b	28.33c	2.26c	4080.3b	Y=0.0022X-0.0113
I1×B4	3.02a	0.98a	3.56a	1.08a	0.056a	26.37a	29.55a	2.19d	4200.3a	Y=0.0021X-0.0085
I2×B1	1.8fg	0.74g	2.54fg	0.74fg	0.042g	21.2f	26.79ef	2.08f	3600g	Y=0.002X-0.0131
I2×B2	1.95ef	0.75fg	2.7ef	0.76efg	0.047ef	23.57bc	26.79ef	2.08f	3807e	Y=0.002X-0.0121
I2×B3	2.35c	0.83d	3.18c	0.79ef	0.049de	23.73bc	28.72b	2.13e	3967cd	Y=0.0021X-0.0123
I2×B4	2.63b	0.93b	3.56b	0.81e	0.05c	22.45de	27.35d	2.33b	4005bc	Y=0.0023X-0.0137
I3×B1	1.71g	0.67i	2.38g	0.54i	0.037i	19.4g	25.91g	1.9h	3105h	Y=0.0019X-0.0135
I3×B2	1.79g	0.71h	2.5g	0.61h	0.04h	21.57ef	26.95e	1.9i	3500g	Y=0.0019X-0.0115
I3×B3	1.83fg	0.73gh	2.56ef	0.65h	0.042g	21.35f	26.97e	2.02g	3760f	Y=0.002X-0.0131
I3×B4	2.11d	0.81de	2.92e	0.71g	0.046f	21.96ef	27.39d	2.16de	3870de	Y=0.0021X-0.0139
LSD	0.15	0.03	0.18	0.05	0.0016	0.92	0.36	0.047	101.78	

I_1، I_2 و I_3 به‌ترتیب آبیاری در مرحله تورم غلاف برگ پرچم (بوتینگ)، ظهور سنبله و عدم آبیاری (کشت دیم)

B_1، B_2، B_3 و B_4 به‌ترتیب و بدون کاربرد کودهای زیستی، آزوسپریلیوم، میکوریزا و کاربرد توام میکوریزا و آزوسپریلیوم

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری بر اساس آزمون LSD هم ندارند.

I_1, I_2 and I_3 supplementary irrigation at heading stage, supplementary irrigation at boot stage and no irrigation respectively.

B_1, B_2, B_3 and B_4 no application bio fertilizers, application *Azospirillum*, *Mycorrhiza* and application *Mycorrhiza* and *Azospirillum* respectively.

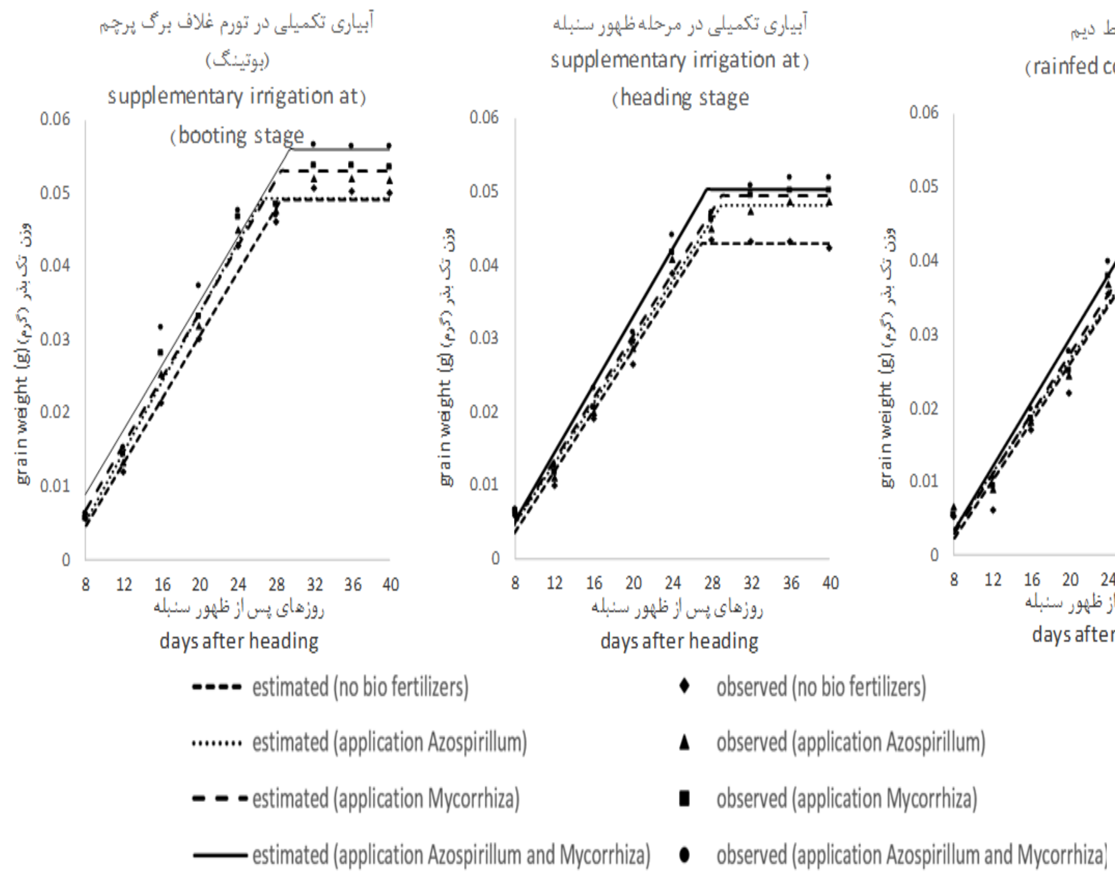
Means with similar letters in each column are not significantly different according by LSD test at 0.01(*) and 0.05 (**) probability level.

بررسی سرعت پر شدن دانه نشان داد که که الگوی نمو بذر در سطوح مختلف آبیاری و کود زیستی از روند مشابهی تبعیت می‌کند (شکل ۱). بدین ترتیب که ابتدا وزن دانه در کلیه تیمارهای مورد ارزیابی به‌صورت خطی افزایش یافت و به حداکثر خود رسید (رسیدگی وزنی). پس از این مرحله، وزن دانه از تغییرات چندانی برخوردار نبود و به‌صورت یک خط افقی درآمد. افزایش وزن دانه از طریق طول دوره پر شدن دانه و سرعت پرشدن دانه میسر است (Hammer *et al*., 2009). معادلات رگرسیونی برازش داده شده نشان داد که بین سرعت پر شدن دانه تفاوت‌هایی وجود دارد. به بیانی دیگر شیب خطی برازش شده برای ترکیب‌های تیماری یکسان نیست. به‌نظر می‌رسد بخشی از افزایش سرعت و طول دوره پر شدن دانه در کاربرد توام آزوسپریلیوم و میکوریزا و آبیاری تکمیلی در مرحله تورم غلاف برگ پرچم (بوتینگ) با افزایش محتوای کلروفیل (جدول ۴) مرتبط باشد. در این راستا تسونو و همکاران (Tsuno *et al*., 1994) اظهار داشتند افزایش میزان کلروفیل در طول دوره رشد به‌ویژه دوره پر شدن دانه، موجب افزایش سرعت پر شدن دانه می‌شود. بائور و همکاران (Bauer *et al*., 1985) در ارزیابی مولفه‌های موثر بر وزن دانه بیان داشتند که سرعت انباشت مواد در دانه نسبت سایر مولفه‌ها اثر بیشتری دارد. کاتو (Kato, 1999) اظهار داشت که دانه‌های با وزن بالاتر، از سرعت پر شدن بالاتری نسبت به دانه‌های با وزن کمتر برخوردار می‌باشند. به‌نظر می‌رسد باکتری‌های محرک رشد با تولید هورمون‌های رشد و تأمین عناصر غذایی، ضمن افزایش سرعت پر شدن دانه، امکان تداوم بیشتر دوره پر شدن دانه را نیز فراهم ساخته‌اند (Khalilzadeh *et al*., 2016; Zamber *et al*., 1984). لمون (Lemon, 2007) گزارش داد که تنش خشکی موجب کاهش طول دوره پر شدن دانه در گیاه گندم شد.

احمدی و بیکر (Ahmadi and Baker, 2001) گزارش کردند که رشد دانه در شرایط مطلوب تا ۴۲ روز پس از گل‌دهی ادامه داشت ولی در شرایط تنش خشکی انتهایی و محدودیت آبی، این دوره در ۲۸ روز پس از گل‌دهی متوقف شد. آن‌ها اظهار داشتند که محدودیت آبی وزن تک بذر را از طریق کاهش دوره مؤثر پر شدن دانه، کاهش می‌دهد. گوتیری و همکاران (Guttieri *et al*., 2001) در ارزیابی اثر آبیاری محدود و شرایط دیم بر گندم اظهار داشتند که اثر کمبود آب در مرحله بین پر شدن دانه و رسیدن بسیار زیاد بوده و موجب کاهش عملکرد دانه به‌واسطه کاهش طول دوره پرشدن دانه شد. عباس‌پور (Abasspour, 2011) اظهار داشت که کاربرد باکتری‌های محرک رشد با افزایش میزان آسیمیلاسیون و سرعت پر شدن دانه، موجب بالا رفتن نقل و انتقال مواد به دانه و افزایش وزن دانه می‌شود. سید شریفی (Seyed Sharifi, 2018) گزارش کرد که باکتری‌های محرک رشد و میکوریز با تولید هورمون‌های رشد و تامین عناصر غذایی، ضمن افزایش سرعت پر شدن دانه و تداوم بیشتر دوره پر شدن دانه، موجب افزایش حداکثر وزن دانه و عملکرد دانه شد. عبادی و همکاران (Ebadi *et al*., 2018) اظهار داشتند که کاربرد کودهای زیستی و آبیاری تکمیلی در مرحله تورم غلاف برگ پرچم (بوتینگ) با افزایش محتوای کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کاروتنوئید موجب افزایش حداکثر وزن دانه، سرعت پر شدن دانه، طول دوره و دوره موثر پر شدن دانه‌ی جو نسبت به عدم تلقیح تحت شرایط دیم شد. در بررسی داداش‌زاده (Dadashzadeh, 2019)، کاربرد آزوسپریلیوم و میکوریزا تحت شرایط آبیاری کامل با افزایش محتوای کلروفیل و بهبود شرایط فتوسنتزی موجب افزایش مولفه‌های پر شدن دانه جو شد.

عملکرد دانه: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر آبیاری تکمیلی، کودهای زیستی و برهمکنش این دو عامل بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که آبیاری تکمیلی در مرحله تورم غلاف برگ پرچم (بوتینگ) با کاربرد توام کودهای زیستی بیش‌ترین عملکرد دانه (۴۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) را به خود اختصاص داد، کشت دیم در حالت عدم کاربرد کودهای زیستی، کم‌ترین این مقدار (۳۱۰۵ کیلوگرم در هکتار) را به خود اختصاص داد (جدول ۴). چو و همکاران (Chu *et al*., 2010) گزارش کردند که تنش‌های رطوبتی در مرحله ظهور سنبله تا پر شدن دانه به دلیل کاهش سنبله‌های بارور و تعداد دانه در هر سنبله موجب کاهش عملکرد می‌شود و اظهار داشتند که این امر ناشی از ویژگی خود تنکی است که در واکنش به کمبود منابعی مانند رطوبت رخ می‌دهد. تینگ لو و همکاران (Tinglu *et al*., 2005) گزارش کردند که آبیاری تکمیلی موجب می‌شود برگ‌های بالایی بوته و به‌خصوص برگ پرچم که سبز هستند در شرایط رطوبت کافی (آبیاری تکمیلی) بتوانند فتوسنتز بیشتری داشته و مواد بیشتری را به طرف دانه‌های در حال پر شدن منتقل کنند که در نهایت موجب افزایش عملکرد دانه می‌شود. رایت و همکاران (Wright *et al*., 1998) اظهار داشتند که کربن اضافی تثبیت‌شده توسط گیاهان میکوریزایی شده به قارچ‌های میکوریزا تخصیص می‌یابد و این قارچ‌ها با ایفای نقش مخزن اضافی برای آسیمیلات‌ها، موجب تحریک فتوسنتز گیاه میزبان شده و از این طریق به بهبود عملکرد کمک می‌کند. دلایلی مختلفی برای کاهش عملکرد در شرایط محدودیت آبی در طی مرحله زایشی گیاه گزارش شده است. تاتاری و همکاران (Tatari *et al*., 2010) اظهار داشتند که تنش از مرحله گلدهی تا مرحله رسیدگی، به‌دلیل تسریع در پیری برگ، دوره پر شدن دانه و به‌تبع از آن وزن دانه را کاهش می‌دهد. عبادی و همکاران (Ebadi *et al*., 2018) علت افزایش عملکرد دانه در انجام آبیاری تکمیلی در مرحله تورم غلاف برگ پرچم (بوتینگ) و کاربرد کودهای زیستی را به افزایش محتوای کلروفیل a، b، کلروفیل کل، کاروتنوئید و بهبود مولفه‌های پر شدن دانه‌ی جو نسب دادند.

داداش‌زاده (Dadashzadeh, 2019) اظهار داشت که کاربرد آزوسپریلیوم و میکوریزا در شرایط آبیاری کامل با بهبود محتوای کلروفیل a، b، کل، کاروتنوئید و مولفه‌های پر شدن دانه موجب افزایش عملکرد دانه جو شد. نتایج مشابهی نیز توسط خیری‌زاده آروق و همکاران (Kheirizadeh Arough *et al*., 2016) مبنی بر این‌که کاربرد کودهای زیستی در شرایط تنش با افزایش محتوای کلروفیل a، b، کلروفیل کل، کاروتنوئید منجر به بهبود فعالیت فتوسنتزی گیاه و عملکرد دانه می‌شود گزارش شده است. فلعه‌گری و همکاران (Felekari *et al*., 2017) اظهار داشتند آبیاری در مرحله گرده‌افشانی موجب بقا دانه‌های گرده و جلوگیری از سقط جنین و گرده‌افشانی موفق می‌شود و بیشترین عملکرد دانه را در انجام آبیاری در مرحله ظهور سنبله و حداقل عملکرد را در شرایط دیم به‌دست آوردند. امانی و همکاران (Amani *et al*., 2017) گزارش کردند که کاربرد کودهای زیستی با تامین نیتروژن کافی جهت تولید کلروفیل به‌واسطه حضور باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن با افزایش محتوای کلروفیل a و b موجب افزایش عملکرد دانه ذرت شد. به‌نظر می‌رسد با افزایش محتوای کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کاروتنوئید (جدول ۴) با بهبود فتوسنتر و افزایش مولفه‌های پر شدن دانه (جدول ۴) موجب افزایش عملکرد دانه (جدول ۴) شد.



شکل ۱- تاثیر کودهای زیستی و آبیاری تکمیلی بر پر شدن دانه گندم

Figure 1- Effect of bio fertilizers and supplemental irrigation on grain filling of wheat

نتیجه‌گیری

کاربرد توام کودهای زیستی و آبیاری تکمیلی به‌خصوص در مرحله تورم غلاف برگ پرچم (بوتینگ) در مقایسه با کشت دیم و عدم کاربرد کودهای زیستی منجر به افزایش سرعت پر شدن دانه، وزن تک بذر، طول دوره‌ی پر شدن، دوره موثر پر شدن دانه، عملکرد و اجزای عملکرد دانه شد. کاربرد توام میکوریزا و آزوسپریلیوم و انجام آبیاری تکمیلی در تورم غلاف برگ پرچم (بوتینگ)، به‌ترتیب موجب افزایش ۱۵/۲۶، ۵۱/۳۵، ۱۴/۰۴، ۳۵/۹۲ و ۳۵/۲۷ درصدی در سرعت پر شدن دانه، وزن تک بذر، طول دوره‌ی پر شدن، دوره موثر پر شدن دانه و عملکرد دانه نسبت به عدم کاربرد کودهای زیستی تحت شرایط دیم شد. به‌نظر می‌رسد کاربرد کودهای زیستی و آبیاری تکمیلی با تعدیل اثرات محدودیت آبی می‌توانند در بهبود عملکرد و مولفه‌های پر شدن دانه حتی در شرایط دیم موثر واقع شوند.

References

1. Abasspour, S. 2011. Effects of seed inoculation with plant growth promoting *rhizobacteria* (PGPR) on grain yield and some agronomic characteristics of triticale. MSc thesis, University of Mohaghegh Ardabili, Iran. (in Persian with English abstract).
2. Ahmadi, A., and Baker, D. A. 2001. The effect of water stress on grain filling processes in wheat. Journal of Agriculture Science 136 (3): 257-269. (in Persian with English abstract).
3. Al-Karaki, G. N., McMichael, B., and Zak, J. 2004. Field response of wheat to *arbuscular mycorrhizal* fungi and drought stress. Mycorrhiza 14 (4): 263-269.
4. Amani, N., Sohrabi, Y., and Heidari, G. 2017. Yield and some physiological characteristics in maize by application of bio and chemical fertilizers under drought levels. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production 27 (2): 65-83. (in Persian with English abstract).
5. Arnon, A. N. 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. Agronomy Journal 23: 112-121.
6. Babaei, K., Seyed Sharifi, R., Pirzad, A. R., and Khalilzadeh, R. 2107. Effects of bio fertilizer and nano Zn-Fe oxide on physiological traits, antioxidant enzymes activity and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) under salinity stress. Journal of Plant Interaction 12 (1): 381-389.
7. Bauer, A. A., Frand, B., and Black, A. L. 1985. Estimation of spring wheat grain dry matter assimilation on from air temperature. Agronomy Journal 77 (5): 743-752.
8. Chu, C. J., Weiner, J., Maestre, F. T., Wang, Y. S., Morris, C., Xiao, S., Yuan, J. L., Du, J. Z., and Wang, G. 2010. Effects of positive interactions, size symmetry of competition and abiotic stress on self-thinning in simulated plant populations. Annals of Botany 106 (4): 647-652.
9. Dadashzadeh, S. 2019. Effects of Nano iron oxide and bio fertilizers on yield, some agrophysioligical and biochemical tratis of barely (*Hordeum vulgare* L.) under salinity and drought stresses conditions. PhD Thesis, University of Mohaghegh Ardabili, Iran. (in Persian with English abstract).
10. Ebadi, N., Seyed Sharifi, R., and Sedghi, M. 2018. Effects of supplementary irrigation and biofertilizers on yield, chlorophyll content and grain filling period of barley. The international conference on agricultural science medicinal plant and traditional medicine, 14-15 February. (in Persian with English abstract).
11. Ellis, R. H., and Pieta-Filho, C. 1992. The development of seed quality spring and winter cultivars of barley and wheat. Seed Science Research 2 (1): 19-25.
12. El-Tayeb, M. A. 2005. Response of barley grain to the interactive effect of salinity and salicylic acid. Plant Growth Regulators 42: 215-224.
13. Felekari, H., Ghobadi, M., Mohammadi, G. R., and Said Jalali-Honarmand, S. 2017. Evaluation of wheat cultivars for physiological traits under different levels of nitrogen and irrigation. Plant Production Technology 8 (2): 97-109. (in Persian with English abstract).
14. Galle, A., Florez-Sarasa, I., Thameur, A., Paepe, R., de Flexas, J., and Ribas-Carbo, M. 2010. Effects of drought stress and subsequent dewatering on photosynthetic and respiratory pathways in Nicotiana Sylvester’s wild type and the mitochondrial complex I-deficient CMSII mutant. Journal of Experimental Botany 61 (3): 765-775.
15. Gusain, Y. S., Singh, U. S., and Sharma, A. K. 2015. Bacterial mediated amelioration of drought stress in drought tolerant and susceptible cultivars of rice (*Oryza sativa* L.). African Journal of Biotechnology 14 (9): 764-773.
16. Guttieri, M. J., Stark, J. C., Brien, K. O., and Souza, E. 2001. Relative sensitivity of spring wheat grain yield and quality parameters to moisture deficit. Crop Science 41 (2): 327-335.
17. Hammer, G., Dong, Z., McLean, G., Doherty, A., Messina, C., Schussler, J., Zinselmeier, C. C., Pszkiewicz, S. and Cooper, M. 2009. Can changes in canopy and/or root system architecture explain historical maize yield trends in U.S. Corn Belt? Crop Science 49 (1): 299-312.
18. Kato, T. 1999. Genetic and environmental variations and associations of the characters related to the grain filling process in rice cultivars. Plant Production Science 2 (1): 32-36.
19. Khalilzadeh, R., and Seyed Sharifi, R. 2018. Cereal crops production. University of Mohaghegh Ardebili Press. Iran. Ardebil. (in Persian with English abstract).
20. Khalilzadeh, R., Seyed Sharifi, R., and Jalilian, J. 2016. Effect of cycocel and bio fertilizers on quantitative and qualitative yield, rate and grain filling period of wheat under water limitation conditions. Crop Physiology Journal 8 (31): 41-60. (in Persian with English abstract).
21. Kheirizadeh Arough, Y., Seyed Sharifi, R., Sedghi, M., and Barmaki, M. 2016. Effect of zinc and bio fertilizers on antioxidant enzymes activity, chlorophyll content, soluble sugars and proline in *triticale* under salinity condition. Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca 44 (1): 116-124.
22. Lemon, J. 2007. Nitrogen management for wheat protein and yield in the Esperance port zone. Department of Agriculture and Food. Western Australia, Perth. Bulletin 4707: 1-30.
23. Martinez, D. E., Luquez, V. M., Bartoli, C. G., and Guiamét, J. J. 2003. Persistence of photosynthetic components and photochemical efficiency in ears of water-stressed wheat (*Triticum aestivum* L.). Physiology Plant 119 (4): 519-525.
24. Neocleous, D., and Nasilakakis, M. 2007. Effects of NaCl stress on red raspberry (*Rubus idaeus* L. "Autumn

Bliss"). Scientia Horticulture 112: 282-289.

25. Oweis. T., Hachum, A., and Kijne, J. 1999. Water harvesting and supplementary irrigation for improved water use efficiency in dry areas. International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka. pp. 7.
26. Ronanini, D., Savin, R., and Hal, A. J. 2004. Dynamic of fruit growth and oil quality of sunflower (*Helianthus annuus* L.) exposed to brief interval of high temperature during grain filling. Field Crop Research 83 (1): 79-90.
27. Rudresha, D. L., Shivaprakasha, M. K. and Prasad, R. D. 2005. Effect of combined application of *Rhizobium*, phosphate solubilizing bacterium and *Trichoderma spp*. on growth, nutrient uptake and yield of chickpea (*Cicer aritenium* L.). Applied Soil Ecology 28 (2): 139-146.
28. Saeidi, M., and Abdoli, M. 2015. Effect of drought stress during grain filling on yield and its components, gas exchange variables, and some physiological traits of wheat cultivars. Journal of Agricultural Science and Technology 17 (4): 885-898.
29. Seyed Sharifi, R., and Namvar, A. 2017. Biofertilizers in Agronomy. University of Mohaghegh Ardebili Press. Iran. Ardebil. (in Persian).
30. Seyed Sharifi, R. and Khalilzadeh, R. 2018. Cereal Crops Production. University of Mohaghegh Ardebili Press. Iran. Ardebil. (in Persian).
31. Seyed Sharifi, S. 2018. Effects of uniconazole and bio fertilizers on grain filling period and contribution of remobilization in grain yield of wheat under different moisture regimes in greenhouse condition. Journal of Environmental Stresses in Crop Sciences 11 (3): 515-531. (in Persian with English abstract).
32. Tatari, A., Koocheki, A., and Nassiri Mahallati, M. 2010. Dryland wheat yield prediction using precipitation and edaphic data by applying of regression models. Iranian Journal of Field Crops Research 7 (2): 357-365. (in Persian with English abstract).
33. Tinglu, F., Stewart, B. A. William, A. P. Yong, W. Shangyou, S. Junjie, L., and Clay, A. R. 2005. Supplemental irrigation and water-yield relationships for plastic culture crops in the Loess Plateau of China. Agronomy Journal 97: 177-188.
34. Tsuno, Y., Yamaguchi, T., and Nakano, J. 1994. Potential dry matter production and grain filling process of rice plant from the viewpoint of source-sink relationships and the role of root respiration in its relationship. Bull. Faculty of Agricultural. Tottori University 47: 1-10.
35. Vatan Doost, H., Seyed Sharifi, R., Farzaneh, S., and Hassan Panah, D. 2018. Grain filling and some fatty acids composition of canola (*Brassica napus* L.) with application of bio-fertilizers and irrigation withholding. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production 27 (4): 23-37. (in Persian with English abstract).
36. Wright, D. P., Scholes, J. D., and Read, D. J. 1998. Effects of VA *mycorrhizal* colonization on photosynthesis and biomass production of *Trifolium repense* L. Plant Cell and Environment 21 (2): 209-216.
37. Zamber, M. A., Konde, B. K., and Sonar, K. R. 1984. Effect of *Azotobacter chroococum* and *Azosprillum brasilense* inoculation under graded levels of nitrogen on growth and yield of wheat. Plant Soil 79: 61-67.
38. Zhen-zhu, X., and Zhen-Wen, Y. 2006. Nitrogen metabolism in flag leaf and grain of wheat in response to irrigation regimes. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 169: 118-126.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 18, No. 1, Spring. 2020, p. 101-109

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۸، شماره ۱، بهار ۱۳۹۹، ص. ۱۰۹-۱۰۱

Effects of Supplemental Irrigation and Biofertilizers on Yield, Chlorophyll Content, Rate and Period of Grain Filling of Rainfed Wheat

F. Yaghini[1], R. Seyed Sharifi[2*], H. Narimani[3]

Received: 11-06-2019
Accepted: 16-11-2019

Introduction

The yield of wheat in Iran is very low as compared to the other wheat producing countries. One of the most important effective factors is water shortage. Water shortage can damage pigments and plastids, reduce chlorophyll a, chlorophyll b, rate and grain filling period. One approach to improve the salt stress problem is the use of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) and *Mycorrhiza*. The PGPR are a group of rhizosphere colonizing bacteria that produce substances to increase the growth of plants, synthesize different phytohormones including auxins, cytokinins, and gibberellins, synthesize enzymes that can modulate plant growth and development. *Arbuscular mycorrhizal* fungi (AMF) symbiosis is considered a valuable component in most agricultural systems due to its role in plant nutrition and soil health. Therefore application of biofertilizers and supplemental irrigation can improve crop yield and water productivity especially during critical crop growth stages.

Materials and Method

A factorial experiment was conducted based on randomized complete block design with three replications in Agricultural Research Station of Ardabil in 2016. Experimental factors included irrigation levels (no irrigation as rainfed, supplemental irrigation at booting and heading stages or according with 45 and 61 BBCH code, respectively) and four levels of biofertilizers application (inoculation with *Azospirilum*, *Mycorrhizal*, *Mycorrhizal+Azospirilum*, and without application of biofertilizers as control). A two part linear model was used to quantify the grain filling parameters. In this study, total chlorophyll, chlorophyll a, b, carotenoid, grain filling components and yield of wheat were investigated. Grain dry weight and grain number were used to calculate the average grain weight for each sample. Total duration of grain filling was determined for each treatment combination by fitting a bilinear model:

$$GW = \begin{cases} a + bt_0 & t < t_0 \\ a + bt & t > t_0 \end{cases}$$

Effective grain filling duration (EGFD) was calculated from the below equation:
EGFD = highest grain weight (g)/rate of grain filling (g day^{-1}).

Results and Discussion

The results showed that application of both biofertilizers (*Mycorrhiza* and *Azosprilium*) and supplementary irrigation at booting stage increased chlorophyll a, b, total chlorophyll and carotenoids (76.6, 42.26, 49.57 and 100% respectively) compared with no application of biofertilizers under rainfed condition. Also, both application of *Mycorrhizae* and *Azospirilium* and supplemental irrigation at booting stage increased grain filling rate, grain weight, grain filling period, effective grain filling rate and grain yield (15.26, 51.35, 14.04, 35.92 and 35.27% respectively) compared with no application of biofertilizers under rainfed conditions.

Conclusions

Based on this study, the application of *Azospirillum* and *Mycorrhiza* and supplemental irrigation at booting stage can improve the content of chlorophyll a, b, total chlorophyll, carotenoids, grain filling rate, grain weight, grain filling period, effective grain filling period and grain yield compared with no application of biofertilizers under rainfed conditions. Based on the results, it seems that application of biofertilizers and supplementary irrigation can be suggested as modulators of drought stress in wheat under rainfed conditionss.

Keywords: *Azospirilum*, *Mycorrhiza*, Photosynthetic pigments, Water limitation

1 and 3- MSc students of Agronomy, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
2- Professor, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
(*- Corresponding Author Email: raouf_ssharifi@yahoo.com)